

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»
(МФТИ, Физтех)

Юридический адрес: 117303, г. Москва,
ул. Керченская, дом 1А, корпус 1
Почтовый адрес: 141700, Московская обл.,
г. Долгопрудный, Институтский переулок, дом 9
Тел.: +7 (495) 408-42-54, факс: +7 (495) 408-68-69
info@mfti.ru

23.12.2025 № 8.02-05/14364

на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе



Баган Виталий
Анатольевич

2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Ефимова Евгения Александровича**
«Моделирование волновых движений в структурно-неоднородных средах
блочного строения в пространственной постановке»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.1.8. «Механика деформируемого твердого тела»

Диссертационная работа Ефимова Е.А. посвящена анализу волновых движений в массивах блочной среды с податливыми межблочными прослойками в пространственной постановке. К средам такого строения относятся горные породы, поэтому проблематика моделирования волн в блочных средах имеет приложение к задачам геомеханики и сейсмоки.

Актуальность выбранной темы диссертации определяется необходимостью разработки методов комплексного теоретического описания нестационарного деформирования геоматериалов для решения задач прогнозирования результатов динамических воздействий природного и техногенного характера.

Научная новизна изложенных в работе результатов заключается в применении пространственных математических моделей блочной среды с тонкими прослойками, учитывающих сложную реологию материалов и иерархичность структуры массива. На основе данного подхода построены оригинальные алгоритмы численной реализации моделей и разработан авторский комплекс программ для решения задач динамического деформирования под действием импульсных возмущений на суперкомпьютерах кластерной архитектуры.

Практическая значимость. Выводы и результаты диссертации, полученные на основе численных расчётов, могут быть использованы при разработке технологий мониторинга напряженно-деформированного состояния массивов горных пород в зонах сильных природных и техногенных воздействий. Разработанные вычислительные алгоритмы и комплекс параллельных программ

могут применяться на практике для исследования волновых процессов в средах, для которых характерна блочная внутренняя структура, а также при проектировании блочных конструкций.

Анализ содержания диссертационной работы.

Диссертация изложена на 137 страницах, состоит из введения, обзора литературы, трёх глав, заключения, одного приложения и списка литературы, содержащего 188 источников.

Во введении описан объект исследования, сформулирована цель работы и задачи, поставленные для достижения цели. Обоснована актуальность работы, теоретическая и практическая значимость, достоверность результатов и описаны методы исследования. Также перечислены основные публикации соискателя по теме диссертации и дана её общая характеристика.

В обзоре проведено краткое обсуждение источников по теме исследования. Приведены ссылки на работы, посвящённые анализу структуры горных пород и методам моделирования блочных сред. Проведён краткий обзор по численным методам решения динамических задач механики деформируемого твёрдого тела.

В первой главе приведены уравнения для описания деформации блочной среды с упругими блоками и тонкими упругими прослойками, которые моделируются как внутренние граничные условия на поверхностях раздела блоков. Для обоснования применимости такой модели показано соответствие результатов, полученных на её основе, с результатами полной модели с упругими слоями. Проведённый анализ коэффициентов отражения и преломления плоских волн подтверждает, что предложенная аппроксимация обеспечивает приемлемую точность при условии малости толщины и высокой податливости прослоек.

Приведено описание численного алгоритма решения, основанного на методе двуциклического расщепления. Разработан комплекс программ для высокопроизводительных систем кластерной архитектуры с использованием библиотеки MPI. На примере численного решения задачи Лэмба в упругом блочном полупространстве отмечены особенности распространения волн в блочных средах.

Во второй главе рассмотрены модели блочных сред с учётом сложных реологических свойств блоков и прослоек. Для описания затухания амплитуд волн в блоках и прослойках используется реологическая модель стандартного линейного вязкоупругого тела. Проводится сравнение результатов, полученных численно на основе модели с упругими блоками и вязкоупругими прослойками, и экспериментальных данных, опубликованных в открытом источнике. Продемонстрировано соответствие численных результатов и лабораторных измерений на качественном уровне. Далее описаны модели пористых и упругопластических прослоек. В конце главы приведены результаты расчётов задачи о влиянии параметров блочной среды на формирование области пластической деформации внутри заглубленного упругопластического включения при ударном воздействии на поверхности блочного полупространства.

Третья глава посвящена численному расчёту волновых полей от воздействия импульсного сейсмоисточника в однородных и слоистых средах, а также в блочных массивах. Оценено влияние длительности импульса и площади платформы источника на качество генерируемых волновых полей. Исследовано влияние параметров блочной структуры на возможность обнаружения места расположения податливого включения в полупространстве.

В заключении диссертации перечислены основные результаты работы и описаны возможные перспективы дальнейшей работы по данной тематике.

Приложение содержит копию свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Анализ основных научных результатов, полученных соискателем, позволяет сделать вывод об их высокой практической и теоретической значимости. Разработанные вычислительные алгоритмы и комплекс параллельных программ могут применяться для решения прикладных задач. С теоретической точки зрения полученный задел может служить основой для исследования вопроса о распространении волн разрушения в средах с характерной блочной структурой.

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается использованием фундаментальных законов механики деформируемого твердого тела и численных методов, применимость которых к данному типу задач исследована и подтверждена в большом числе работ других авторов. В работе показано качественное соответствие результатов расчётов динамики блочной сборки с результатами, полученными в эксперименте. Научные результаты Ефимова Е.А. обсуждались на международных и всероссийских конференциях, опубликованы в рецензируемых российских и зарубежных журналах, что также подтверждает высокий уровень достоверности результатов.

Результаты диссертации могут быть использованы в Институте проблем механики РАН, Институте горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Институте механики сплошных сред УрО РАН, Институте прикладной математики ДВО РАН, Национальном исследовательском Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского и в других научно-исследовательских организациях, направления научных исследований которых связаны с изучением волновых полей в структурно-неоднородных средах, с задачами сейсмики и геодинамики.

По материалам диссертации имеются следующие вопросы и замечания.

1. Как в численном методе для решения задач динамики блочной среды производится расчёт границ стыковки вертикальных прослоек с горизонтальными?

2. В работе при численном моделировании используется метод контрольного объёма второго порядка аппроксимации на монотонных профилях и первого порядка на немонотонных. Более высокую точность расчётов можно было бы получить, применяя конечноразностные методы, например, сеточно-характеристические схемы.

3. Каким образом в схеме с заранее заданной диссипацией энергии, построенной по принципам Г.В. Иванова, производится распараллеливание вычислений, внутри блоков или по блочному массиву в целом? Является ли такая схема монотонной? Что можно сказать о дисперсионных свойствах этой схемы?

4. Можно ли на основе разработанных вычислительных алгоритмов и компьютерных программ моделировать поведение кирпичной кладки с напуском, когда прослойки смещаются относительно друг друга по слоям?

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку работы, которая представляет собой законченное научное исследование. Полученные автором результаты, научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, обоснованы и достоверны, обладают высоким уровнем новизны и имеют как теоретическое, так и практическое значение.

По основным результатам исследования опубликовано 8 научных работ, из которых 6 изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 6 – индексируются в базах данных Web of Science либо Scopus, что подтверждает широкую апробацию диссертационной работы. Список трудов содержит также одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. По результатам, приведённым в работе, было сделано 19 докладов на конференциях, среди которых конференции Всероссийского и Международного уровней. Содержание диссертации и основные результаты в полной мере отражены в автореферате.

Диссертационная работа по содержанию и методам исследования соответствует пунктам: 2. «Теория определяющих соотношений деформируемых тел с простой и сложной структурой»; 3. «Задачи теории упругости, теории пластичности, теории вязкоупругости»; 8. «Динамика деформируемого твёрдого тела. Теория волновых процессов в средах различной структуры»; 12. «Вычислительная механика деформируемого твёрдого тела» паспорта специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела».

Диссертация Ефимова Евгения Александровича «Моделирование волновых движений в структурно-неоднородных средах блочного строения в пространственной постановке», по актуальности затронутых вопросов, научной новизне и практической значимости отвечает требованиям пп. 9-14 положения ВАК РФ, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Ефимов Евгений Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела».

Отзыв подготовлен доктором физико-математических наук Фаворской Алёной Владимировной, научная специальность 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Отзыв на диссертацию обсуждён и одобрен на расширенном научном семинаре кафедры вычислительной физики МФТИ, Физтех 17 декабря 2025 г., протокол №12.

Согласна на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку и передачу в соответствии с требованиями Минобрнауки.

Доктор физ.-мат. наук  Фаворская Алёна Владимировна

Почтовый адрес: 141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер.,9

Телефон: 8 (495) 408-73-81,

Адрес электронной почты: favorskaya@phystech.edu

Организация – место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», кафедра вычислительной физики

Должность: профессор

Web-сайт организации: <https://mipt.ru>

ПОДПИСЬ РУКИ
ЗАВЕРЯЮ:
АДМИНИСТРАТОР КАНЦЕЛЯРИИ
АДМИНИСТРАТИВНОГО ОТДЕЛА
О. А. КОРАБЛЕВА



